**PRODUÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum* sp. L.) AUTO-HIDROLISADO E AVALIAÇÃO
DO SEU VALOR NUTRITIVO PARA RUMINANTES**

RICARDO BÜRGI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RAUL DANTAS D'ARCE

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Nutrição Animal e Pastagens.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1985

i.

Aos meus pais
LYDIA e URS

DEDICO.

HOMENAGEM ESPECIAL

Ao Engº LAMARTINE NAVARRO Jr., presidente
da Destilaria Alcidia S/A, pioneiro e pertinaz
incentivador desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. Raul Dantas d'Arce, pela orientação dedicada , incentivo e amizade.

Ao Prof.Dr. Wilson Roberto Soares Mattos, pelo apoio, sugestões e orientação nas análises laboratoriais.

Ao Prof.Dr. Vidal Pedroso de Faria, pelas sugestões no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof.Dr. Irineu Umberto Packer, pelo auxílio na análise estatística e interpretação dos resultados.

Ao Prof.Dr. Henrique Vianna de Amorim, pelo apoio no início deste trabalho.

Ao Engº Agrº Mário Celso Fernandes Lacorte, pela cooperação e amizade.

À Técnica de Laboratório Ana Maria Zani de Moura, pela presteza nas análises laboratoriais.

À Estagiária Maristela Neves Conceição, pelo auxílio no preparo de amostras para análise.

À Destilaria Alcidia S/A, de Teodoro Sampaio - S.P., que patrocinou este trabalho.

Aos Engº Marcelo Camargo Pacheco Filho, Engº Agrº Roque Gerônimo Herrera e Sr. Donato Cinto, da Destilaria Alcidia S/A, pela colaboração e amizade.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	xi
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A fração fibrosa das plantas forrageiras	4
2.1.1. Os compostos polimerizados da parede celular	5
2.1.2. A estrutura da parede celular	7
2.1.3. A parede celular e o valor <u>nu</u> tritivo da planta forrageira.	9
2.1.4. Valor nutritivo do bagaço de cana	12
2.2. Métodos de tratamento de forragens lignificadas	14
2.2.1. Tratamentos químicos	15
2.2.2. Tratamentos biológicos	16
2.2.3. Tratamentos físicos	16
2.3. O processo de auto-hidrólise	17
2.3.1. Efeitos do tratamento sobre o valor nutritivo da forragem .	19

2.3.2. Resultados com animais.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. Otimização e padronização do processo de tratamento	29
3.2. Testes de consumo	30
3.3. Experimento com bovinos confinados ..	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Padronização do processo de tratamen- to	37
4.2. Testes de consumo	42
4.3. Experimento com bovinos confinados ..	44
5. CONCLUSÕES	54
LITERATURA CITADA	57

LISTA DE TABELAS

Página

1 - Constituintes fibrosos e digestibilidade "in vitro" da matéria seca e celulose do Capim Napier em sete estádios de crescimento. (SILVEIRA, 1971)	11
2 - Resultados de tratamentos com pressão de vapor sobre a digestibilidade "in vitro" da matéria seca (DIVMS) do bagaço de cana.....	21
3 - Composição das rações completas do 1º teste de consumo (% da matéria original)	31
4 - Composição das rações completas do 2º teste de consumo (em % da matéria original)	33
5 - Composição das rações completas (% da matéria original) do experimento com bovinos confinados	36
6 - Digestibilidade verdadeira "in vitro" da matéria seca (DVIVMS) do bagaço auto-hidrolisado em função da pressão e do tempo de tratamento	38

7 - Tratamento padronizado do bagaço de cana com aplicação de vapor d'água sob pressão de 17 kgf/cm ² durante 5 minutos (obtenção do BAH 17/5)	40
8 - Resultados médios de análises bromatológicas do BAH 17/5 e do bagaço "in natura"	41
9 - Consumo de matéria seca como porcentagem do peso vivo de bovinos alimentados com rações completas à base de BAH 17/5.....	43
10 - Resultados das análises bromatológicas dos alimentos das rações completas	45
11 - Porcentagem dos alimentos na matéria seca das rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".....	46
12 - Resultados das análises bromatológicas das rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura"	47

13 - Consumo médio diário das rações completas (kg/cab.dia) à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura"	48
14 - Resultados das pesagens dos bovinos alimentados com rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura"	50
15 - Resultados de ganho de peso dos bovinos alimentados com rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura"	50
16 - Parâmetros de eficiência nutricional dos bovinos alimentados com as rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".....	52

LISTA DE FIGURAS

Página

1 - Vista com exposição das diferentes camadas da parede celular, mostrando a organização das microfibrilas de celulose em cada uma delas. (Segundo A.Wardrop e D.Bland, 1959, citados por DEVLIN, 1969)	8
2 - Efeito da maturação sobre a MS de componentes da cana. (GOODING, 1982)	12
3 - Efeito da pressão e tempo de tratamento sobre a digestibilidade do bagaço de cana. (TAYLOR e ESDALE, sem data)	20
4 - O equipamento de auto hidrólise. (Cap.: 400 kg bagaço/batelada)	28
5 - Digestibilidade verdadeira "in vitro" da matéria seca (DVIVMS) do bagaço hidrolisado em função da pressão e do tempo de tratamento	38a

6 - Consumo em função da proporção de BAH 17/5 na ração completa	43
7 - Evolução do consumo das rações completas à ba se de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".....	49

PRODUÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* sp. L.)
AUTO-HIDROLISADO E AVALIAÇÃO DO SEU VALOR NUTRITIVO
PARA RUMINANTES

Candidato: RICARDO BÜRGI

Orientador: Prof.Dr. Raul Dantas d'Arce

RESUMO

O processo de auto-hidrólise consiste em submeter material ligno-celulósico a tratamento com pressão de vapor, para melhorar o seu valor nutritivo, como alimento para ruminantes.

A aplicação do processo no tratamento do bagaço de cana foi otimizada operacionalmente e o material obtido foi avaliado como alimento para bovinos confinados.

O tratamento foi padronizado com pressão de 17 kgf/cm^2 e tempo de 5 minutos, o que elevou a digestibilidade de "in vitro" da MS de 35,31 %, no bagaço "in natura", para 64,82% no material tratado, denominado BAH 17/5. Em um teste preliminar obteve-se consumo diário médio de 2,9 kg matéria seca/100 kg peso vivo, quando se forneceu uma ração completa contendo 74% de BAH 17/5 na MS.

Em um experimento de ganho de peso com bovinos confinados ($\bar{P}\bar{V}$ inicial = 330 kg) durante 84 dias, o BAH 17/5 foi fornecido nos níveis de 40%, 50% e 60% da MS de rações completas (Rações 40, 50 e 60), formuladas para proporcionar ganho de peso de 1 kg/dia. Um lote testemunha recebeu ração completa com 60% de bagaço "in natura" na MS (Ração 60 T). As quatro rações completas continham 70% de volumoso na MS (bagaço + cana picada) e 30% de uma mistura de concentrados.

O ganho de peso médio (g/dia) e o consumo de MS (kg/cabeça.dia) foram 960, 816, 872, 699; 9,92, 10,00, 10,13 e 6,71 para os lotes recebendo as Rações 40, 50, 60 e 60 T respectivamente.

Houve um período de 3-4 semanas até que ocorresse a estabilização do consumo das rações completas à base de BAH 17/5. Após esse período o ganho de peso médio (g/dia) e o consumo de MS (kg/cabeça.dia) foram 981, 937, 1.160, 613; 11,17, 11,36, 11,77 e 7,19, respectivamente.

As rações à base de BAH 17/5 proporcionaram ganhos de peso significativamente superiores ($p < 0,01$) em relação a Ração 60 T. Não houve efeito de níveis de BAH 17/5 sobre o ganho de peso dos bovinos.

Conclui-se que o processo de auto-hidrólise é viável para o tratamento do bagaço e que o material obtido pode ser fornecido como componente principal de rações completas para bovinos confinados.

AUTO-HYDROLYSIS OF THE SUGAR CANE BAGASSE AND ITS FEEDING
VALUE FOR RUMINANTS.

Candidate: RICARDO BURGI

Adviser: Prof.Dr. Raul Dantas d'Arce

SUMMARY

The auto-hydrolysis process consists in treating ligno-cellulosic materials under steam-pressure to rupture the fiber structure and to improve its nutritive value for ruminants.

The effects of treatment pressure and time on sugarcane bagasse digestibility were evaluated to establish the operational patterns. The operational conditions adopted were 17 kgf/cm² and 5 minutes. The "in vitro" DM digestibility of the treated bagasse obtained under these conditions (BAH 17/5) was increased from 35.31% (untreated bagasse) to 64.82%.

In a preliminary 40 days trial with confined steers weighing 300 kg the mean intake reached 2,9 kg dry matter (DM)/100 kg body weight, when the animals were fed a complete ration containing 74% BAH 17/5, on a DM basis.

In a 84 days feed lot trial (initial body weight = 330 kg), BAH 17/5 was fed at levels of 40%, 50% and 60% in complete rations (Rations 40, 50 and 60, respectively) formulated to allow 1 kg daily gain. A control lot was fed a complete ration formulated with 60% untreated bagasse (on DM basis - Ration 60 T). The four complete rations were 70% roughage (bagasse + chopped sugarcane stalks) and 30% a concentrate mixture.

The average body weight gain (g/day) and the DM intake (kg/day) were 960, 816, 872, 699; 9.92, 10.00, 10.13 and 6.71 for the lots on Rations 40, 50, 60 and 60 T, respectively.

It was necessary 3-4 weeks to achieve maximum intake level (as % of body weight) with the BAH 17/5 rations. After this adaptation period, the average daily gain (g/day) and DM intake (kg/day) were 981, 931, 1,160, 613; 11.17, 11.36, 11.77 and 7.19, respectively.

The BAH 17/5 rations were significantly ($p < 0.01$) superior than the untreated bagasse ration. There was no significant BAH 17/5 level effect on body weight gain.

It may be concluded that the auto-hydrolysis process is a feasible one to improve the nutritive value of

the surplus bagasse from the sugarcane industry and that it can be used as the major roughage constituent of complete rations in feedlot.

1. INTRODUÇÃO

A rápida expansão da indústria alcooleira, nos últimos anos, gerou quantidades crescentes de resíduos e subprodutos, estimulando o interesse dos empresários por soluções que possam proporcionar seu aproveitamento econômico. O bagaço de cana é atualmente o maior resíduo da agro-indústria brasileira, sendo que as sobras da safra de 1984 foram estimadas em cerca de sete milhões de toneladas (PINTO, 1983), que se acumularam nos pátios de usinas e destilarias.

Soluções para o problema vêm sendo estudadas em diversos campos da pesquisa. Existem processos, em diferentes estágios de desenvolvimento, para utilização do bagaço de cana como fonte de energia em substituição ao óleo combustível; como matéria-prima na produção de chapas aglomeradas e de furfural; como substrato para fermentação alcoólica, após delignificação e despolimerização da celulose, e muitos outros usos (ZEGARRA, 1978). Contudo, as opções já técnica e economicamente

aprovadas para utilização comercial são poucas e restritas a áreas próximas às usinas e destilarias. Entre outros fatores, a baixa densidade do bagaço de cana, aliado a um reduzido valor comercial, limitam seu transporte a médias e largas distâncias.

A transformação do bagaço de cana em alimento para ruminantes representa uma opção especialmente interessante para regiões onde a cultura da cana deslocou a atividade pecuária, ocupando áreas antes cobertas por pastagens. Considerando que a safra de cana coincide com a época de seca, em que há escassez de forragens, esta opção de utilização do bagaço assume uma importância adicional, uma vez que pode contribuir para a redução da flutuação de oferta de alimento essenciais como a carne e o leite.

Diversos pesquisadores conduziram trabalhos visando avaliar o valor nutritivo do bagaço de cana "in natura" para animais ruminantes e concluíram que sua utilização na dieta é limitada devido à elevada lignificação da fração fibrosa e à baixa densidade, que prejudicam a digestibilidade e o consumo. O desenvolvimento de processos para o tratamento do bagaço de cana, visando aumentar seu valor nutritivo e o potencial de utilização em rações para bovinos, vem despertando o interesse de empresários do setor sucro-alcooleiro, empenhados na adoção de sistemas integrados de produção. O processo de au-

to-hidrólise destaca-se entre os demais pela facilidade de instalação e operação dentro de usinas e destilarias, simplicidade dos equipamentos e por demandar um único insumo, abundante nessas indústrias, que é o vapor d'água sob pressão.

Utilizando equipamentos desenvolvidos pela Destilaria Alcidia S/A, de Teodoro Sampaio-SP, este trabalho teve por objetivos otimizar o processo de auto-hidrólise e avaliar seus efeitos sobre a composição e o valor nutritivo do bagaço de cana.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A fração fibrosa das plantas forrageiras

As substâncias componentes de uma planta forrageira podem ser separadas em conteúdo celular e constituintes da parede celular. Essa classificação, proposta por Van SOEST e MOORE (1965), objetiva facilitar a estimativa do valor nutritivo das plantas forrageiras e materiais fibrosos de origem vegetal utilizados no arraçoamento de animais.

No conteúdo celular estão presentes os carboidratos solúveis, o amido, quase toda a proteína, minerais solúveis, lipídios e os ácidos orgânicos das plantas. Rompidas as paredes celulares, estas substâncias podem ser integralmente aproveitadas no trato digestivo dos animais vertebrados.

A parede celular responsável pela estrutura e sustentação dos vegetais e entre seus constituintes destacam-se quantitativamente três compostos polimerizados a celulose, a hemicelulose e a lignina - ligados entre si covalentemente e formando longas cadeias, que em essência compõem a fração fibrosa das plantas. Pectinas, ceras, minerais, cutina, alguma proteína e compostos nitrogenados são substâncias que se apresentam em proporções reduzidas na parede celular e são nutricionalmente menos importantes (Van SOEST, 1982).

2.1.1. Os compostos polimerizados da parede celular

A celulose e a hemicelulose são polissacarídeos. Uma molécula de celulose é um longo e flexível homopolímero de moléculas de glucose unidas por ligações covalentes beta 1-4. A hemicelulose, ao contrário, não é uma substância quimicamente definida, mas um heteropolissacarídeo com uma cadeia central de pentoses (xilose, nas gramíneas) e cadeias laterais contendo hexoses (Mc DONALD et alii 1977). São compostos higroscópicos, especialmente a hemicelulose.

Sessenta por cento das moléculas de celulose es tão unidas entre si nas diferentes camadas da parede celular, formando uma estrutura cristalina de fibrilas e microfibrilas (GOSSELINK, 1982). O restante da celulose (celulose amorfa) e

a hemicelulose preenchem parcialmente os vazios existentes nas camadas da parede celular, constituindo-se na matriz das microfibrilas de celulose. A celulose e a hemicelulose não são degradadas pelas enzimas digestivas dos vertebrados, porém podem ser consideravelmente digeridas pelas bactérias que habitam o rúmem de animais poligástricos e pela microflora intestinal de outros herbívoros.

A lignina é um polímero aromático amorfo e não higroscópico. O termo lignina representa uma série de compostos estreitamente relacionados, cuja estrutura ainda não é perfeitamente conhecida. Aceita-se que a lignina apresenta uma estrutura polimerizada em cadeia tridimensional cuja unidade básica é o fenil-propano (Van SOEST, 1982; Mc DONALD et alii 1977). A lignina é muito resistente à degradação química e, por isso quase não sofre digestão enzimática. À medida que as plantas amadurecem, ocorre deposição de lignina na parede celular. A lignina incrusta-se nas camadas da parede celular formando complexas ligações com a celulose e a hemicelulose, o que diminui a digestibilidade destas. A ligação com a celulose é provável, mas ainda não foi caracterizada (Van SOEST, 1982). A ligação com a hemicelulose é a mais importante e constitui-se, no caso de gramíneas, da esterificação de um radical acetil da lignina com a xilose da hemicelulose (Waagepetersen, 1979 citado por GOSSELINK, 1982).

2.1.2. A estrutura da parede celular

A estrutura da parede celular é complexa, com a forma é mostrado na Figura 1.

A parede celular de uma célula madura apresenta quatro camadas distintas: a parede primária e as camadas externa (S1), intermediária (S2) e interna (S3) da parede secundária. Separando duas células adjacentes existe uma substância rica em pectato de cálcio, denominada lamela média e que funciona como um agente cimentante (DEVLIN, 1969).

A unidade básica da estrutura das camadas da parede celular é a microfibrila de celulose, que tem diâmetro de aproximadamente $62.500 \text{ \AA}$. Esta é composta de cerca de 20 fibrilas elementares ou micelas. Cada micela é constituída de aproximadamente 100 cadeias moleculares de celulose.

A organização das microfibrilas de celulose é diferente nas paredes primária e secundária. Na parede primária, as microfibrilas apresentam-se dispostas de forma desordenada, transversalmente ao eixo celular, à exceção dos vértices celulares onde a orientação é longitudinal. A parede primária é elástica e permite o alongamento celular. À medida que a célula envelhece, ocorre a formação das camadas da parede secundária e isto confere rigidez à parede celular.

Figura 1 - Vista com exposição das diferentes camadas da parede celular, mostrando a organização das microfibrilas de celulose em cada uma delas. (Segundo A.Wardrop e D.Bland, 1959, citados por DEVLIN, 1969).

Nestas camadas, a organização das microfibrilas segue um arranjo definido (DEVLIN, 1969). Na camada externa (S1) as microfibrilas dispõem-se segundo duas espirais opostas, que formam um ângulo aberto com o eixo celular. Na camada intermediária (S2) observa-se uma espiral em ângulo agudo com o eixo celular e anéis concêntricos de microfibrilas. Na camada interna (S3) as microfibrilas dispõem-se segundo uma helicóide suave.

2.1.3. A parede celular e o valor nutritivo da planta forrageira

O valor nutritivo das plantas forrageiras é determinado por dois fatores: a proporção de parede celular e o seu grau de lignificação (Van SOEST, 1982).

Os animais ruminantes, através dos simbiotes estomacais, aproveitam uma parte considerável da fração fibrosa de folhas e colmos novos das plantas, cuja parede celular apresenta as microfibrilas de celulose envoltas numa matriz não lignificada, composta de celulose e hemicelulose (Mc DONALD et alii 1977). As plantas maduras, devido à deposição de lignina na matriz das camadas da parede secundária, apresentam menor digestibilidade, pois a lignina, além de indigerível, constitui uma barreira física que dificulta a exposição de celulose e hemicelulose ao ataque dos microorganismos do rúmen.

Com o amadurecimento dos tecidos da planta, a parede secundária engrossa, devido à deposição de lignina, adquirindo extrema rigidez. Isto ocorre às expensas do espaço intracelular, pois o tamanho da célula é determinado quando o tecido ainda é novo (Van SOEST, 1982). A proporção de conteúdo celular é então reduzida, o que concorre para diminuir ainda mais a digestibilidade da forragem.

A Tabela 1 mostra o efeito da maturação da planta forrageira sobre os constituintes fibrosos e a digestibilidade "in vitro" da matéria seca. Com a maturação aumenta o teor de fibra, especialmente a lignina, e a digestibilidade cai.

A cana-de-açúcar madura, conforme a variedade, apresenta teor de lignina e de parede celular variando de 4,5% a 8,4% e de 43% a 68% na matéria seca, respectivamente (GOODING, 1982). Porém seu teor de açúcares também aumenta com a maturação (Figura 2). Em comparação com outras gramíneas forrageiras, o valor nutritivo da cana-de-açúcar pouco se altera com a maturação, pois o aumento do teor de açúcares compensa a diminuição na digestibilidade da fração fibrosa.

Tabela 1 - Constituintes fibrosos e digestibilidade "in vitro" da matéria seca e celulose do Capim Napier em sete estádios de crescimento. (SILVEIRA, 1971).

Estádio de maturidade	Composição % na matéria seca					Digestibilidade %	
	F.B. ^a	A.D.F. ^a	C.A.D.F. ^a	L.A.D.F. ^a	S.A.D.F. ^a	M.S. ^b	C ^b
45 dias	24,35	29,97	24,28	3,31	2,23	71,64	76,91
75 dias	30,25	37,68	29,82	4,64	2,53	68,58	70,27
105 dias	37,14	42,78	33,84	5,95	2,79	59,26	61,43
135 dias	40,35	46,08	35,37	7,71	2,87	54,10	51,65
165 dias	41,22	47,56	35,42	8,59	2,92	53,47	49,57
195 dias	43,10	49,12	36,22	9,18	3,13	48,23	42,48
225 dias	44,32	49,80	36,64	9,58	3,37	47,35	42,33

a - F.B: fibra bruta; A.D.F: fibra em ácido detergente; C.A.D.F: celulose em A.D.F.;
L.A.D.F: lignina em A.D.F.; S.A.D.F.: sílica em A.D.F.

b - M.S.: matéria seca. C: celulose.

Figura 2 - Efeito da maturação sobre a MS de componentes da cana. (GOODING , 1982).

2.1.4. Valor nutritivo do bagaço de cana

Na indústria sucro-alcooleira, o processo de moagem da cana objetiva a máxima extração de conteúdo celular rico em açúcares. A cana é submetida à moagem e a sucessivas prensagens, visando a ruptura das células. Simultaneamente, sofre abundante lavagem para extração das substâncias solúveis liberadas. Nesse processo, obtem-se três produtos básicos: caldo, bagaço e bagacilho. O caldo é composto do conteúdo celular e da água de lavagem. O bagacilho é primeiramente extraído com o caldo de cana e depois retido em peneiras. É constituído

do de fragmentos da parede celular finamente moídos. O bagaço reúne fragmentos grosseiros da parede celular e pequena quantidade de conteúdo celular não extraído na moagem.

Cada tonelada de cana moída fornece cerca de 250 kg de bagaço com 50 % de matéria seca. Entre 15 e 20% do bagaço obtido não é utilizado nos processos de geração de energia e sobra nos pátios das indústrias.

O bagaço de cana, tal como obtido na indústria sucro-alcooleira apresenta reduzida digestibilidade e baixa densidade. Estes fatores restringem sua utilização para cerca de 30 % da matéria seca das rações. Proporções mais elevadas causam retração no consumo e, conseqüentemente, um desempenho inferior. Em um experimento com vacas em lactação produzindo 20-25 kg leite/dia, a produção foi mantida quando se forneceu apenas 22,5 % de bagaço "in natura" na matéria seca (M.S.) de uma ração completa (RANDEL, 1970). Com vacas de menor produção - 15 kg leite/dia - foi possível formular rações completas contendo 30-40 % de bagaço "in natura" na M.S. (ROMAN-PONCE et alii, 1975). Para novilhas mestiças em crescimento, que apresentaram ganho de peso médio de 477 g/cabeça.dia, durante um ano, o bagaço "in natura" somente pode participar em 20,5 % da M.S. da ração (JOSHI et alii, 1979). Trabalhando com bovinos confinados, PACOLA et alii (1977) forneceram ração

completa com 40 % de bagaço "in natura" na M.S., o que prejudicou o consumo e proporcionou ganhos de peso de apenas 650-720 g/cabeça.dia. Carneiros adultos castrados apresentaram consumo voluntário de 180, 300 e 450 g de M.S. de bagaço "in natura" conforme receberam 100 g raspa de mandioca, 100 g farelo de soja ou 200 g da mistura desses alimentos/dia (CAM - POS et alii, 1977).

De um modo geral, esses pesquisadores utilizaram o bagaço "in natura" apenas como fonte de fibra na formulação de rações para ruminantes contendo elevada proporção de alimentos concentrados.

2.2. Métodos de tratamento de forragens lignificadas

Processos de tratamento do bagaço de cana, bem como de outros alimentos volumosos grosseiros que se caracterizam pelo elevado teor de fibra lignificada e pelo baixo teor de proteína, como as palhadas de culturas, as cascas de cereais, palhas de capim e maravalha de madeira, vem sendo largamente estudados em vários países do mundo (JACKSON, 1978) visando à nutrição de ruminantes.

O objetivo dos tratamentos é promover a ruptura das complexas ligações químicas da lignina com a celulose e a hemicelulose. Devido a essas ligações, a celulose e a hemicelulose perdem suas propriedades higroscópicas e o acesso a esses polissacarídeos, por parte dos microorganismos do rúmen

e grandes moléculas-enzimas - fica prejudicado (GOSSELINK 1982). Foram desenvolvidos processos químicos, biológicos e físicos para o tratamento de resíduos e subprodutos lignificados da agricultura. A eficiência desses processos de tratamento é variável, sendo que os trabalhos de pesquisa demonstram (JACKSON, 1978) que, no atual estágio de desenvolvimento tecnológico, os processos físicos e químicos são mais efetivos que os biológicos.

2.2.1. Tratamentos químicos

Os tratamentos químicos, que utilizam substâncias alcalinizantes como a soda, a amônia e a uréia, são os de uso mais difundido em países da Europa e nos Estados Unidos (GOSSELINK, 1982). Promovem incrementos de 10 a 20 pontos percentuais na digestibilidade "in vitro" da MS (DIVMS) dos alimentos tratados (JACKSON, 1978) e requerem instalações, equipamentos e cuidados especiais. Existem processos de tratamento desenvolvidos há mais de 40 anos e que são efetivos em escala comercial. Em certas regiões, o custo dos produtos químicos e o incremento que isso agrega ao custo final do material tratado pode limitar a adoção dessa tecnologia.

2.2.2. Tratamentos biológicos

O desenvolvimento de processos biológicos para o tratamento de volumosos grosseiros vem despertando grande interesse nos últimos anos. Recentemente foram realizados trabalhos para avaliar a capacidade de bactérias (DESCHAMPS et alii, 1980) e de fungos (ZADRAZIL, 1980) em degradar lignina de madeira e de resíduos da agricultura, visando a quebra do complexo ligno-celulósico e aumento da digestibilidade desses materiais. O tempo de tratamento com fungos é longo, entre 1 e 3 meses, e o incremento na digestibilidade é muito variável em função do tipo de microorganismo, do resíduo volumoso, do tempo e temperatura de tratamento e da adição de suplementos à fermentação (ZADRAZIL e BRUNNERT, 1980). A pesquisa busca selecionar espécies de fungos que degradem seletivamente a lignina, não decompondo carboidratos que os próprios ruminantes são capazes de digerir. Não existem ainda processos de tratamento biológico testados e aprovados em escala comercial.

2.2.3. Tratamentos físicos

Os processos de tratamento físico podem ser de três tipos: moagem, irradiação e aplicação de vapor d'água sob pressão. A moagem é utilizada visando maior consumo ou o processamento do material em "pellets". A irradiação objetiva promover a desagregação da fração fibrosa, incrementando a

digestibilidade do material. O processo de tratamento físico com vapor sob pressão é o que apresenta maior potencial em face dos resultados que já foram obtidos pela pesquisa (CAMPBELL et alii, 1973; PATE, 1982; RANGNEKAR et alii, 1982; MARCOS et alii, 1984). Este processo promove incrementos na digestibilidade dos volumosos grosseiros semelhantes aos proporcionados pelos tratamentos químicos, mas não envolve o uso de reagentes. Em outros países, existem processos de tratamento com vapor d'água sob pressão utilizados em escala comercial, no melhoramento do valor nutritivo de palhadas de culturas, resíduos de madeira e bagaço de cana (MACHADO, 1982). Este tipo de tratamento requer equipamentos especiais e disponibilidade de vapor d'água, o que implica em ser instalado anexo a plantas industriais acionadas por caldeiras, como as usinas e destilarias.

2.3. O processo de auto-hidrólise

Entre os vários processos propostos para aumentar o valor nutritivo de forragens lignificadas, destaca-se pela simplicidade operacional o tratamento com pressão de vapor denominado de processo de auto-hidrólise. A disponibilidade de vapor sob pressão nas destilarias e usinas viabiliza este processo de tratamento dentro das indústrias.

Tal processo foi descrito em 1931 por Mason (MACHADO, 1982) e consiste em submeter o material lignocelulósico a elevadas pressões e temperaturas, durante um determinado período de tempo, seguido de uma descompressão repentina. Este tratamento promove profundas alterações na composição das fibras, resultando, quando utilizado sob condições específicas de pressão e tempo de tratamento, em significativo aumento na digestibilidade deste material tratado, por ruminantes.

MACHADO (1982) em sua revisão sobre aplicação de vapor e pressão em resíduos de madeira, seguida de descompressão rápida, como pré-tratamento para a hidrólise enzimática da celulose, citou que a quebra do complexo lignina-polissacarídeos ocorre através de dois efeitos distintos:

1. O primeiro efeito, variável com a temperatura e o tempo de tratamento, é a clivagem de grupos acetil da hemicelulose, o que proporciona um meio ácido e promove a hidrólise da hemicelulose, rompendo a estrutura da parede celular. Esta etapa foi denominada de auto-hidrólise.
2. O segundo efeito é a "abertura" dos fragmentos de bagaço, devido à repentina expansão de

vapor por efeito da descompressão rápida que ocorre ao final do tratamento. A água contida nos fragmentos de bagaço vaporiza-se subitamente e sua expansão "rompe e afrouxa" a estrutura fibrosa da parede celular, promovendo uma diminuição do material e aumentando sua exposição ao ataque dos microorganismos do rúmem. Esta etapa foi denominada de descompressão rápida.

2.3.1. Efeitos do tratamento sobre o valor nutritivo da forragem

De acordo com a natureza do material lignocelulósico e com as características dos equipamentos utilizados no processo, existem determinadas relações ideais entre a pressão e o tempo de tratamento, que proporcionam os maiores incrementos na taxa de digestibilidade "in vitro". (MARCOS et alii, 1984; HART et alii, 1981).

Os métodos de determinação da digestibilidade "in vitro" são largamente adotados para avaliação dos efeitos desse tipo de tratamentos (JACKSON, 1978). Em diversos trabalhos, amostras de bagaço de cana submetidas a tratamento com pressão de vapor, sob diferentes regimes de pressão e tempo de

tratamento, apresentaram incremento na digestibilidade "in vi
tro" de acordo com os dados da Tabela 2.

Foi observado que, para uma determinada pressão de trabalho, a digestibilidade "in vitro" aumenta com o tempo de tratamento, até um ponto de máximo, e depois decresce, com a aplicação de tempos maiores. Também foi observado que, quan
to maior a pressão de trabalho, maior foi o incremento obtido na digestibilidade "in vitro" e isto aconteceu em um tempo me
nor (TAYLOR e ESDALE, sem data), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Efeito da pressão e tempo de tratamento sobre a digestibilidade do bagaço de cana. (TAYLOR e ESDALE, sem data).

Tabela 2 - Resultados de tratamentos com pressão de vapor sobre a digestibilidade "in vitro" da matéria seca (DIVMS) do bagaço de cana.

DIVMS (%)		Pressão (kgf/cm ²)	Tempo	Autor
Inicial	Final			
34,5(1)	42,5	5,0	30 min	RANGNEKAR <u>et alii</u> , 1982.
34,5	51,1	7,0	30 min	
34,5	54,5	9,0	30 min	
34,5	50,6	5,0	60 min	
34,5	50,5	7,0	60 min	
34,5	56,6	9,0	60 min	
16,8(2)	32,9	14,1	5 min	HART <u>et alii</u> , 1981.
16,8	40,4	21,1	5 min	
16,8	43,5	28,1	30 seg	
16,8	41,1	28,1	90 seg	
16,8	40,7	35,2	20 seg	
16,8	35,1	35,2	90 seg	
16,8	34,7	42,2	20 seg	
16,8	35,1	42,2	90 seg	
34,0(1)	51,5	9,0	5 min	MARCOS <u>et alii</u> , 1984
34,0	52,5	9,0	10 min	
34,0	49,7	9,0	15 min	
34,0	42,4	9,0	20 min	

(1) Método de Tilley-Terry

(2) Método de Guggolz, modificado por Hart - determinação dos solúveis totais após digestão com celulase de *Trichoderma viride* por 16 horas.

Entre os efeitos do tratamento com pressão de vapor sobre os constituintes da parede celular, destaca-se o desaparecimento da hemicelulose (RANGNEKAR et alii, 1982). Os teores de lignina e de celulose pouco são afetados. Nos regimes de pressão e tempo de tratamento em que são obtidos incrementos máximos da digestibilidade "in vitro", o desaparecimento da hemicelulose é total. Sua degradação dá origem a ácido acético ,

pentoses, hexoses e furfural. A cor marrom e o cheiro característico do bagaço tratado se devem à formação dos chamados polímeros de Maillard, a partir da reação de condensação e polimerização entre substâncias nitrogenadas e os carboidratos provenientes da degradação da hemicelulose, envolvendo também compostos fenólicos, por copolimerização. (MACHADO, 1982; Van SOEST, 1982).

Com tempos de tratamento crescentes, há significativo incremento da fração extrato etéreo. MARCOS et alii (1984), utilizando pressão de 9 kgf/cm^2 e tempos de 0, 5, 15 e 20 minutos, determinaram teores de extrato etéreo de 2,5, 4,4, 6,7, 8,9 e 11,5%, respectivamente. Atribuíram este fato à extração de compostos não lipídicos, provavelmente produtos fenólicos advindos da degradação de lignina. O potencial tóxico destes produtos fenólicos foi objeto de preocupação nas pesquisas conduzidas por HART et alii (1981) e CAMPBELL et alii (1973).

HART et alii (1981), trabalhando com palha de arroz, observaram que, no regime de pressão e tempo de tratamento ($21,1 \text{ kgf/cm}^2$ e 2 minutos) em que obtiveram o melhor resultado de digestibilidade "in vitro", o teor de fenóis passou de 0,43% no material "in natura", para 1,64 % no tratado.

Possivelmente, com tempos de tratamento maiores, a degradação de lignina é mais extensa e a elevação dos níveis de fenóis deve prejudicar a atividade dos microorganismos do rúmem, o que eventualmente contribui para a redução na digestibilidade "in vitro" observada em materiais submetidos a tratamentos mais longos.

Alguns trabalhos identificaram perdas de matéria seca, durante o tratamento (HART et alii 1981) da ordem de 5 a 16%. Foi verificada a ocorrência de aumento no teor de umidade do material tratado, por condensação de vapor dentro do vaso de pressão (RANGNEKAR et alii 1980).

HART et alii (1981) estudaram os efeitos da adição de soluções de amônia, uréia e soda ao material lignocelulósico, antes de submetê-lo ao tratamento com vapor. Os aditivos nitrogenados não tiveram efeito sobre a digestibilidade "in vitro" das amostras tratadas. A retenção do nitrogênio adicionado foi quase total até o nível de 1,5% de uréia sobre a matéria seca. Além desse valor, a retenção do excesso de nitrogênio foi pequena. A adição de soda nos níveis de 2% e 4% da matéria seca promoveu incremento da digestibilidade "in vitro", o que foi mais expressivo para a casca de arroz do que para o bagaço de cana.

2.3.2. Resultados com animais

Trabalhos de avaliação do bagaço de cana e outros volumosos grosseiros tratados com pressão de vapor já foram realizados com animais, reunindo dados de metabolismo e de desempenho.

CAMPBELL et alii (1973) trataram bagaço de cana com $27,5 \text{ kgf/cm}^2$ por 45 segundos e forneceram em rações completas para carneiros com peso médio de 47,2 kg, em um ensaio de digestibilidade. O bagaço participou em 40% de matéria seca. Os resultados de consumo da matéria seca e digestibilidade da matéria orgânica foram 381,7, 568,6 e 571,9 g/cabeça.dia e 61,4%, 72,0% e 67,5% para as rações com bagaço "in natura", bagaço tratado e bagaço tratado-peletizado respectivamente. Neste trabalho foi observado um consumo inicial elevado das rações com bagaço tratado com uma sensível redução após 3 dias de fornecimento.

No entanto, GARRETT et alii (1981), trabalhando com ovinos pesando em média 26 kg, obtiveram decréscimo na digestibilidade da matéria orgânica (-6,3%), da celulose (-9,7%), da proteína (-26,4%) e da energia (-8,1%), quando forneceram ração completa com 65% de palha de arroz tratada à 28 kgf/cm^2 por 20 segundos, em relação a uma ração com mesmo nível de palha de arroz sem tratamento. O tratamento da palha

de arroz a 28 kgf/cm^2 por 90 segundos também apresentou resultados inferiores ao material não tratado. Obtiveram resultados positivos com relação à digestibilidade da matéria orgânica e da celulose, quando aplicaram à palha de arroz, 4% de soda ou 2,6% NH_3 e em seguida submeteram o material ao tratamento de auto-hidrólise. Observaram, porém, que a utilização de palha de arroz tratada com pressão de vapor promoveu um decréscimo sistemático na digestibilidade do nitrogênio de rações completas.

PATE (1982) realizou experimentos de digestibilidade, consumo e ganho de peso com bovinos recebendo rações à base de bagaço auto-hidrolisado. Trabalhou com novilhos pesando em média 275 kg, aos quais foram fornecidas rações completas com 56% (na matéria seca) de bagaço tratado a $19,4 \text{ kgf/cm}^2$ por 4,3 minutos ou bagaço "in natura". Os resultados de digestibilidade da matéria seca das rações completas foram 65,8% e 60,7%, respectivamente. No experimento de consumo utilizando os mesmos animais e as mesmas condições de tratamento do bagaço, verificou que com níveis inferiores de bagaço tratado (32% da matéria seca), o consumo da ração foi maior. Após 20 dias de fornecimento obteve consumos de 6,8 kg MS/cabeça.dia e 2,8 kg MS/cabeça.dia, para as rações completas com 32% e 56% de bagaço tratado. No experimento de ganho de peso com bovinos confinados durante 91 dias, utilizou bagaço tratado a

20,4 kgf/cm² por 2 minutos e bois de 360 kg de peso inicial
Formulou rações com 0,14,30 e 46 % de bagaço tratado na maté-
ria seca e obteve, respectivamente, consumo de 10,21, 10,93,
11,45 e 10,42 kg MS/cabeça.dia e ganhos de peso de 1,10, 1,23,
1,40 e 0,88 kg/cabeça.dia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Destilaria Alcidia S/A, em Teodoro Sampaio-SP, entre setembro de 1983 e maio de 1984.

O tratamento do bagaço foi realizado em equipamento-protótipo desenvolvido pela Destilaria Alcidia S/A e construído em 1982 pela CALDEMA - Calderaria e Máquinas Agrícolas Ltda., de Sertãozinho-SP.

O equipamento consiste de uma câmara de pressão em aço carbono com capacidade para 350 a 400 kg de bagaço "in natura", dotada de aberturas para carregamento e descarregamento de bagaço, válvula de vapor com regulação automática de pressão, válvula de descompressão rápida, termômetro e manômetro (ver Figura 4). O equipamento opera em regime de batelada e foi construído para trabalhar com pressão máxima de 21 kgf / cm^2 , utilizando vapor super-aquecido proveniente das caldeiras da destilaria.

Figura 4 - O equipamento de auto hidrólise.
(Cap.: 400 kg bagaço/batelada).

3.1. Otimização e padronização do processo de tratamento

Foi seguida a recomendação de JACKSON (1978), de que a avaliação do efeito de tratamentos que visam melhorar o valor nutritivo de volumosos grosseiros, deve ser realizada através da comparação dos resultados de determinações da digestibilidade "in vitro" dos materiais "in natura" e tratado.

Como o equipamento permite operar com diversas combinações de pressão e tempo de tratamento, procurou-se conhecer quais combinações promoviam maior incremento na digestibilidade do bagaço de cana. MACHADO (1982) trabalhando com madeira de *Eucalyptus paniculata* observou que a temperatura e o tempo de tratamento influem na extensão da hidrólise da hemicelulose, durante a etapa de "auto-hidrólise", porém o equipamento utilizado neste trabalho não permitia controlar diretamente a temperatura, que variava entre 180°C e 210°C, em função da combinação de pressão e tempo de tratamento adotada. Supõe-se que os efeitos da etapa de "descompressão rápida" sobre a digestibilidade dependam da pressão e da temperatura no interior da câmara e do teor de umidade do material, no momento da abertura da válvula de descompressão.

Foram realizados 24 tratamentos com diferentes combinações de pressão e tempo de tratamento. A pressão variou de 8 a 19 kgf/cm² e o tempo de 2 a 14 minutos. O bagaço auto-hidrolisado (BAH) obtido em cada um desses tratamentos foi

amostrado e submetido à determinação do pH, matéria seca e digestibilidade verdadeira "in vitro" da matéria seca (Van SOEST, 1982).

O objetivo foi obter informações que permitissem padronizar as condições de pressão e tempo de tratamento para a obtenção de incrementos ótimos na digestibilidade do bagaço, durante a operação rotineira do equipamento de auto-hidrólise da Destilaria Alcidia.

Várias amostras do bagaço auto-hidrolisado, obtido após padronização do processo de tratamento, foram submetidas a análise bromatológica e também foram feitas observações sobre a conservação do material tratado, em pilhas compactadas e cobertas com lona plástica.

3.2. Testes de consumo

Entre 13/10/83 e 20/12/83, foram realizados na Destilaria Alcidia, dois testes de consumo com bovinos confinados recebendo rações completas contendo bagaço auto-hidrolisado, tratado segundo as condições previamente padronizadas, a 17 kgf/cm^2 por 5 minutos (BAH 17/5).

O primeiro teste teve o objetivo de verificar o efeito do nível de bagaço auto-hidrolisado em rações comple

tas sobre o consumo voluntário de novilhos confinados. Teve a duração de 39 dias e utilizou 24 novilhos anelados, com idade entre 18 e 30 meses, 260 a 320 kg de peso vivo, e que foram divididos aleatoriamente em 4 lotes referentes aos tratamentos, que apresentavam níveis crescentes de BAH 17/5 na matéria seca da ração, em substituição à cana picada, conforme discrimina a Tabela 3.

Tabela 3 - Composição das rações completas do 1º teste de consumo (% da matéria original).

Alimentos		Ração 20	Ração 38	Ração 56	Ração 74
Bagaço auto-hidrolisado		20,12	40,17	62,32	86,94
Cana picada		68,83	48,19	25,36	-
Milho grão		4,93	5,18	5,45	5,76
Concentrado proteico		5,89	6,18	6,51	6,88
Uréia		0,23	0,28	0,36	0,42
Composição em	MS%	38,3	40,2	42,4	44,9
Princípios					
Nutritivos	PB%	9,5	9,5	9,6	9,6
(estimada)	NDT%	55,9	55,8	55,7	55,6
RAÇÃO 20 - Ração Completa com 20% BAH 17/5 na MS (estimado)					
RAÇÃO 38 - Ração Completa com 38% BAH 17/5 na MS (estimado)					
RAÇÃO 56 - Ração Completa com 56% BAH 17/5 na MS (estimado)					
RAÇÃO 74 - Ração Completa com 74% BAH 17/5 na MS (estimado).					

A alimentação foi em grupo. A ração fornecida para cada lote, bem como as respectivas sobras, foram pesadas diariamente durante os últimos 25 dias do teste, para determinação do consumo. As rações completas foram amostradas semanalmente e enviadas para análise.

O segundo teste teve o objetivo de verificar o efeito da adição de melaço como palatabilizante de uma ração completa com elevada proporção de BAH 17/5. Teve a duração de 28 dias e utilizou 20 novilhos provenientes do teste anterior, que foram divididos em dois lotes ao acaso e receberam rações completas com elevada proporção de BAH 17/5 na matéria seca, conforme apresentado na Tabela 4.

Foi registrado o consumo médio de cada lote, durante os últimos 20 dias do teste.

3.3. Experimento com bovinos confinados

O experimento foi conduzido na Destilaria Alcídia S/A, Teodoro Sampaio-SP, e teve a duração de 84 dias, de 09/02/84 a 03/05/84.

O objetivo foi verificar o efeito de proporções crescentes de bagaço auto-hidrolisado na dieta, em substituição à cana picada, sobre o desempenho de bovinos confinados .

Tabela 4 - Composição das rações completas do 2º teste de consumo (em % da matéria original).

Alimentos		Ração 74 M	Ração 74 SM
Bagaço auto-hidrolisado		78,05	78,44
Milho grão		2,70	6,11
Concentrado proteico		4,41	5,53
Solução 40 % melaço		14,31	
Água			9,60
Uréia		0,53	0,32
Composição em	MS%	40,6	40,6
Princípios			
Nutritivos	PB%	9,0	9,0
(estimada)	NDT%	55,6	56,6
RAÇÃO 74 M - Ração completa com 74% de BAH 17/5 na MS (estimado), com melaço.			
RAÇÃO 74 SM - Ração completa com 74% de BAH 17/5 na MS (estimado), sem melaço.			

Também foram comparadas rações completas à base de bagaço auto-hidrolisado ou bagaço "in natura".

Foram utilizados 44 novilhos de corte entre 18 e 30 meses, de mesmo padrão racial (anelorados) e com peso médio inicial de 330 kg. Na apartação, dia 08/02, os novilhos receberam vacina contra aftosa, vermífugo, implante de RALGRO e foram identificados com brincos plásticos.

Os novilhos foram colocados nas quatro baias de confinamento, com piso de concreto, cocho coberto e com área de 52,5 m² cada (4,8 m²/cabeça). Sobre o piso foi colocada uma camada fina de bagaço "in natura", que era substituída a cada dois dias, para a limpeza das baias.

Nos primeiros 12 dias, período de adaptação, os novilhos receberam a mesma alimentação, à base de cana e ponta de cana picadas. Nesse período, o bagaço auto-hidrolisado foi fornecido em proporções crescentes (20 até 50% da MS da dieta) e foi feita adaptação à uréia.

No dia 21/02, os novilhos foram pesados e separados ao acaso em lotes de 11 animais. Os tratamentos foram sorteados aos 4 lotes formados e iniciou-se o período de com - paração, com 72 dias.

O delineamento estatístico foi de um experimento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 11 repetições. Os quatro tratamentos foram:

- (1) RAÇÃO 40 - ração completa com 40% de bagaço auto-hidrolisado na MS (estimado)
- (2) RAÇÃO 50 - ração completa com 50% de bagaço auto-hidrolisado na MS (estimado)

- (3) RAÇÃO 60 - ração completa com 60% de bagaço auto-hidrolisado na MS (estimado)
- (4) RAÇÃO 60 T- ração completa com 60% de bagaço "in natura" na MS (estimado).

Dentro de cada tratamento, a alimentação foi em grupo, fornecida uma vez ao dia, pela manhã. Diariamente, logo antes do fornecimento das rações (Tabela 5), as sobras do dia anterior eram retiradas do cocho e pesadas. As quantidades fornecidas eram reguladas para que as sobras ficassem entre 10 e 15%, para garantir consumo à vontade por todos os animais do lote.. Para cada ração, preparava-se uma solução de melaço e uréia (água + melaço + uréia) que era homogeneamente distribuída, com regador, sobre uma pré-mistura dos outros componentes. A mineralização foi feita por adição de sal comum e complexo mineral diretamente nas rações completas e também através de cochos de sal instalados em cada baia de confinamento.

Os novilhos foram pesados individualmente no início do período de comparação e aos 30, 44, 58 e 72 dias de confinamento. As pesagens eram realizadas à 7:00 h, após jejum de alimentos de 14 horas.

Tabela 5 - Composição das rações completas (% da matéria original).do experimento com bovinos confinados.

Alimentos		Ração 40	Ração 50	Ração 60	Ração 60 T
BAH 17/5		38,1	47,6	57,1	
Bagaço "in natura"		-			53,3
Cana picada		40,0	26,7	13,3	13,3
Milho grão (quirera)		3,1	3,1	3,1	3,1
Concentrado proteico (Produlac 32%)		3,6	3,6	3,6	3,6
Melaço		6,9	6,9	6,9	6,9
Água		7,2	10,9	14,8	18,6
Uréia		0,6	0,7	0,7	0,7
Sal comum		0,3	0,3	0,3	0,3
Complexo mineral		0,2	0,2	0,2	0,2
Composição em	MS%	40,0	40,0	40,0	40,0
Princípios					
Nutritivos	PB%	9,5	9,5	9,5	9,5
(estimada)	NDT%	55,1	55,1	55,0	43,0

MS = Matéria Seca; PB = Proteína Bruta; NDT = Nutrientes Digestíveis Totais.

Os alimentos utilizados e as rações completas foram amostrados a cada 15 dias, para composição de amostras médias. Estas foram submetidas a análises bromatológicas segundo A.O.A.C. (1960) e Van SOEST e WINE (1968).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Padronização do processo de tratamento

Os resultados de digestibilidade "in vitro" das amostras de bagaço auto-hidrolisado (BAH) tratadas com diferentes combinações de pressão e tempo de tratamento estão na Tabela 6 e Figura 5.

Verificou-se que, quanto mais alta a pressão menor é o tempo necessário para o tratamento, e mais elevados são os valores de digestibilidade atingidos.

Estes resultados estão de acordo com os apresentados por TAYLOR e ESDALE (sem data) e por MARCOS et alii (1984).

O incremento da digestibilidade foi de cerca de 30 pontos percentuais sobre a amostra de bagaço "in natura", para as melhores combinações de pressão e tempo de tratamento. Os

Tabela 6 - Digestibilidade verdadeira "in vitro" da matéria

(DVIVMS) do bagaço auto-hidrolisado em função da pressão e do tempo de tratamento.

Amostra (kgf/cm ²)/(min)	pH	MS (%)	DVIVMS (%)
19/02	3,3	38,58	77,47
17/14	3,2	29,76	70,88
17/12		32,08	71,64
17/10	3,3	36,26	73,67
17/08		40,96	73,01
17/06	3,4	36,97	77,61
17/04		40,08	73,02
17/02	3,7	39,56	68,71
14/14		36,90	68,94
14/10	3,4	41,26	70,57
14/06		41,22	66,10
14/04		44,81	59,79
14/02		44,97	57,00
11/14	3,5	36,05	75,59
11/10	3,6	39,39	73,14
11/04		42,22	61,02
11/02		46,07	58,27
08/14	3,8	36,69	71,64
08/10	3,8	39,54	63,43
08/06		37,67	59,17
08/04		43,21	56,92
08/02		42,57	54,91
00/00	5,5	44,05	46,41
Padrão Bagaço		48,31	47,85
Padrão Napier			77,85
Bagacilho 17/5	3,7	28,83	64,24

Estimativa da digestibilidade verdadeira, segundo método de Tilley-Terry modificado por Van SOEST (1982).

Figura 5 - Digestibilidade verdadeira "in vitro" da matéria seca (DVIVMS) do bagaço hidrolisado em função da pressão e do tempo de tratamento.

melhores resultados foram comparáveis ao do padrão adotado no Laboratório de Bromatologia da ESALQ, que é uma amostra de folhas de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) com 20 dias de crescimento, e atingiram cerca de 77% de digestibilidade.

E

O método de digestibilidade "in vitro" utiliza do estima a digestibilidade verdadeira dos alimentos. Para obtenção do valor de digestibilidade aparente, os resultados de vem ser subtraídos de 12,9 pontos percentuais (Van SOEST,1982).

Optou-se por padronizar o tratamento com pressão de 17 kgf/cm² e tempo de 5 minutos, pois esta combinação situa-se na área ótima do gráfico obtido. O bagaço auto-hidrolisado assim obtido foi denominado de BAH 17/5 (Tabela 7). Não foi adotada uma pressão mais elevada, pois as caldeiras da destilaria não poderiam proporcioná-la permanentemente e isto prejudicaria a produção padronizada do bagaço auto-hidrolisado.

A Tabela 8 apresenta os resultados médios de diversas análises do BAH 17/5 e do bagaço "in natura". Observe-se que com o tratamento ocorre diminuição no teor de NDF devido ao desaparecimento da hemicelulose, ligeiro acréscimo no teor de extrato etéreo (conforme resultados de MARCOS et alii

Tabela 7 - Tratamento padronizado do bagaço de cana com aplicação de vapor d'água sob pressão de 17 kgf/cm² durante 5 minutos (obtenção do BAH 17/5).

Fase do processo	Minuto	Temperatura (°C)	Pressão (kgf/cm ²)
Início do carregamento	00	90	0
	04	80	0
	07	70	0
Fim do carregamento	09	80	0
Início Injeção de Vapor	10	95	0
	11	140	11
Início da contagem	12	175	16,5
	14	200	17,0
	15	205	17,0
	16	210	17,5
Final da contagem - Liberação do vapor	17	210	17,5
	18	165	0
Início da descarga	21	155	0
Final da descarga	24	155	0

1984), manutenção dos níveis de celulose, lignina e proteína, redução da fibra bruta e incremento no teor de extrativo não nitrogenado. Além disso ocorre diminuição do teor de matéria seca e aumento da acidez do material tratado. Há um incremento de 84 % na digestibilidade, com relação ao bagaço "in natura".

Tabela 8 - Resultados médios de análises bromatológicas do BAH 17/5 e do bagaço "in natura".

Determinação	Bagaço "in natura"	Bagaço Auto-hidrolisado
Matéria seca (%)	48,31	40,32
- em g/100 g de Matéria seca		
Proteína Bruta	1,86	1,67
Fibra Bruta	45,09	34,45
Extrato Etéreo	2,26	4,86
Matéria Mineral	2,73	4,77
Extrativo não Nitrogenado	48,06	54,25
Fibra em Detergente Neutro (NDF)	85,24	58,16
Fibra em Detergente Ácido (ADF)	62,33	62,65
Celulose	44,69	43,99
Hemicelulose	22,91	-
Lignina em Detergente Ácido	14,89	15,06
Ca	n.d.	0,12
P	n.d.	0,02
K	n.d.	0,16
DVIVMS (1)	33,31	64,82

MS = Matéria Seca; DIVMS = Digestibilidade "in vitro" da MS
 (1) Estimativa da digestibilidade aparente da M.S. Foi calculada subtraindo-se 12,9 pontos percentuais da DVIVMS média obtida em diversas amostras de BAH 17/5 e bagaço "in natura".

O bagaço auto-hidrolisado apresenta coloração marrom, densidade 2 a 3 vezes superior à do bagaço "in natura", maior friabilidade e textura macia. É um material relativamente estável, provavelmente devido à acidez, que pode ser armazenado em pilhas compactadas e cobertas por lona plástica, na forma de um silo de superfície. Foi notado ataque de fungos na camada superficial da pilha (20 a 30 cm) e, durante todo o período de armazenamento, de 8 meses, a temperatura no seu interior permaneceu elevada, entre 40 e 50°C. É necessário desenvolver mais estudos sobre a conservação do bagaço auto-hidrolisado.

4.2. Testes de consumo

No primeiro teste determinou-se uma regressão significativa entre proporção de BAH 17/5 na dieta e consumo voluntário de matéria seca (Figura 6). No segundo teste, porém, o consumo de rações com elevada proporção de BAH 17/5 foi satisfatório, independente da adição de palatabilizante (Tabela 9). Como foram utilizados novilhos provenientes do teste de consumo anterior, inferiu-se que a adaptação a dietas contendo bagaço auto-hidrolisado é lenta, decorrendo 20 a 30 dias até a estabilização do consumo.

Figura 6 - Consumo em função da proporção de BAH 17/5 na ração completa.

Tabela 9 - Consumo de matéria seca como porcentagem do peso vi
vo de bovinos alimentados com rações completas à base de
BAH 17/5.

Tratamento	Consumo		PV Médio (kg)	Cons.propor cional (kg MS/100 kg PV.dia)
	kg MO/ /cab.dia	Kg MS/ /cab.dia		
Ração 74 M	18,60	9,38	323,05	2,90
Ração 74 SM	16,36	8,80	316,30	2,78

Após esse período, o BAH, mesmo em elevada proporção na dieta, aparentemente não prejudicou o consumo voluntário das rações completas. O consumo de BAH 17/5 atingiu níveis superiores a 2 kg MS/100 kg PV, quando fornecido na proporção de 74% da matéria seca da dieta.

4.3. Experimento com bovinos confinados

A Tabela 10 apresenta os resultados das análises bromatológicas dos alimentos utilizados no preparo das rações completas. O bagaço "in natura" foi retirado da pilha de sobra de bagaço, a mais de 2 m de profundidade, e apresenta - va-se com características de ensilagem. Observe-se que o bagaço "in natura" apresenta um teor de 24% de hemicelulose, que desaparece no bagaço auto-hidrolisado. O teor de proteína bruta do melaço foi superior ao esperado.

Com base nesses resultados de análise, pudemos calcular a porcentagem real de cada alimento na matéria seca das rações completas (Tabela 11). Verifica-se que as porcentagens de bagaço na MS das rações resultaram muito próximas do planejado, indicando que os teores de umidade considerados para os alimentos no balanceamento das rações foram adequados.

Tabela 10 - Resultados das análises bromatológicas dos alimentos das rações completas.

Item	Bagaço		Cana picada	Milho grão	Conc. proteico	Melaço
	"in natura"	BAH				
em % da MO						
- MS	47,47	43,47	26,06	88,53	91,07	69,15
em % da MS						
- PB	1,63	1,58	2,13	10,54	34,31	6,26
- FB	43,25	33,02	25,39	2,67	9,22	
- EE	0,35	0,38	0,29	3,69	2,29	
- MM	3,93	4,18	1,71	1,93	15,70	
- ENN(')	50,84	60,84	70,48	81,17	38,48	
- ADF	60,58	63,35	31,62			
- NDF	84,53	58,99	46,55			
- CiNDF	3,18	3,29				
- ADL	13,15	16,51				
- Hemicelulose(')	23,95	-				
- Celulose (')	43,20	43,55	14,93			

MS = matéria seca; MO = matéria original; PB = proteína bruta; FB = fibra bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; ENN = extrativo não nitrogenado; ADF = fibra em detergente ácido; NDF = fibra em detergente neutro; CiNDF = cinza da pare de celular; ADL = lignina em detergente ácido.

(') Cálculos por diferença ENN = 100 - (PB + FB + EE + MM)

Hemicelulose = NDF - ADF

Celulose = ADF - (ADL + CiNDF).

Tabela 11 - Porcentagem dos alimentos na matéria seca das rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Alimento	Ração 40	Ração 50	Ração 60	Ração 60 T
BAH 17/5	42,6	52,2	61,6	-
Bagaço "in natura"	-	-	-	62,1
Cana picada	26,8	17,5	8,6	8,5
Milho grão	7,1	6,9	6,8	6,7
Conc.proteico	8,4	8,3	8,1	8,1
Melaço	12,3	12,0	11,8	11,7
Uréia	1,5	1,8	1,8	1,7
Sal comum	0,8	0,8	0,8	0,7
Complexo mineral	0,5	0,5	0,5	0,5

As quatro rações completas apresentaram composições semelhantes quanto aos princípios nutritivos analisados , conforme atestam os resultados da Tabela 12.

Observe-se que, à medida que aumentou a proporção de bagaço auto-hidrolisado, o teor de hemicelulose diminuiu. Os teores de lignina foram muito próximos em todas as rações. Os teores de MM foram elevados, indicando que pode ter havido alguma contaminação com terra durante o transporte e armazenamento do bagaço. Além disso, o sal comum e complexo mineral foram adicionados às rações completas. A CiNDF representa a cinza insolú

Tabela 12 - Resultados das análises bromatológicas das rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Item	Ração 40	Ração 50	Ração 60	Ração 60T
em % da MO				
- MS	38,32	39,36	39,88	41,37
em % da MS				
- PB	9,51	9,14	9,70	9,49
- FB	23,29	24,98	24,46	28,80
- EE	0,82	0,75	0,70	0,85
- MM	7,29	7,78	9,84	8,71
- ENN(')	59,09	57,35	55,30	52,15
- ADF	39,68	43,67	47,48	43,17
- NDF	44,86	46,21	46,66	58,73
- CiNDF	3,03	3,66	5,22	3,81
- ADL	12,03	13,42	11,21	12,44
- Hemicelulose(')	5,18	2,54	-	15,56
- Celulose(')	24,62	26,59	31,05	26,92

MS = matéria seca; MO = matéria original; PB = proteína bruta; FB = fibra bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral ; ENN = extrativo não nitrogenado; ADF = fibra em detergente ácido; NDF = fibra em detergente neutro; CiNDF = cinza da parede celular; ADL = lignina em detergente ácido.

(') Cálculos por diferença $ENN = 100 - (PB + FB + EE + MM)$

Hemicelulose = $NDF - ADF$

Celulose = $ADF - (ADL + CiNDF)$

vel das paredes celulares, que é constituída principalmente de sílica, e é uma fração indisponível ao animal. Contaminações com terra são em grande parte recuperadas nessa fração.

A Tabela 13 e a Figura 7 apresentam a evolução do consumo das rações durante o experimento. Observa-se que as curvas referentes às rações com bagaço auto-hidrolisado são muito próximas, à exceção das primeiras 3 semanas, em que houve um consumo menor da Ração 60. Daí para frente, o consumo dessas rações aproximou-se e tendeu a estabilizar por volta dos 11,4 kg MS/cab.dia. Isso nos sugere que ocorre uma adaptação gradativa dos animais a dietas com elevados níveis de bagaço auto-hidrolisado e que essa adaptação leva cerca de 3 semanas. Após esse período, independente das proporções de cana picada e bagaço auto-hidrolisado, os consumos dessas três rações completas (Rações 40, 50 e 60) foram elevados e semelhantes. A Ração 60 T, com bagaço "in natura", teve seu consumo estabilizado em 63 % das outras rações.

Tabela 13 - Consumo médio diário das rações completas (kg/cab. .dia) à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Período	Ração 40	Ração 50	Ração 60	Ração 60 T
21/02 a 03/05 (período de com paração)	25,88 (9,92)*	25,41 (10,00)	25,40 (10,13)	16,21 (6,71)
22/03 a 03/05 (após estabili- zação do consu- mo)	29,16 (11,17)	28,85 (11,36)	29,52 (11,77)	17,39 (7,19)

* Consumo de matéria seca.

Figura 7 - Evolução do consumo das rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

A Tabela 14 apresenta os resultados de três pesagens: (a) pesagem inicial em 21/02, (b) pesagem após estabilização do consumo em 22/03 e (c) pesagem final em 03/05.

Foram calculados os ganhos de peso médios diários durante os 72 dias do período de comparação e durante os últimos 42 dias do experimento (consumo estabilizado). Os resultados estão na Tabela 15.

Tabela 14 - Resultados das pesagens dos bovinos alimentados com as rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Tratamento	Pesagens		
	(a) 21/02	(b) 22/03	(c) 03/05
Ração 40	324,55 ± 9,81	352,45 ± 11,74	393,64 ± 12,03
Ração 50	329,55 ± 8,03	349,18 ± 8,84	388,27 ± 9,82
Ração 60	332,00 ± 9,86	346,09 ± 9,24	394,82 ± 9,85
Ração 60 T	333,00 ± 7,93	357,64 ± 7,70	383,36 ± 8,63

Tabela 15 - Resultados de ganho de peso dos bovinos alimentados com as rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Tratamento	GPD (kg/cab.dia)	
	entre 21/02 e 03/05(*)	entre 22/03 e 03/05(**)
Ração 40	0,960 ± 0,058a	0,981 ± 0,044 b
Ração 50	0,816 ± 0,045ab	0,931 ± 0,046 b
Ração 60	0,872 ± 0,044a	1,160 ± 0,037a
Ração 60 T	0,699 ± 0,042 b	0,613 ± 0,041 c

Obs.: Numa mesma coluna, médias com letras diferentes (a,b,c) diferem entre si (pelo teste de Tukey), ao nível de 5% de significância.

(*) Média do período de comparação, com 72 dias de duração

(**) Média dos últimos 42 dias do experimento (consumo estabelecido)

GPD = Ganho de peso diário.

Em ambos esses períodos foram encontradas diferenças significativas a favor da Ração 60, em comparação com a Ração 60 T, demonstrando a superioridade do bagaço auto-hidrolisado sobre o bagaço "in natura" como alimento componente de rações completas para bovinos confinados. Não foram encontradas diferenças significativas entre os ganhos de peso proporcionados pelas Rações 40, 50 e 60, durante o período de comparação. Porém, após a estabilização do consumo (últimos 42 dias) a Ração 60 mostrou-se superior às outras duas, proporcionando ganho de peso médio de 1,160 kg/cab.dia. Isto pode ter sido resultado de crescimento compensatório uma vez que este lote apresentou consumo inferior aos outros dois durante as primeiras 3 semanas da comparação.

Para os 72 dias do período de comparação, não houve tendência linear ou quadrática dos níveis de bagaço na ração sobre o ganho de peso dos lotes. Isto indica que as rações 40, 50 e 60 foram equivalentes em termos de desempenho dos bovinos. A análise de variância indicou diferença significativa para o ganho de peso da Ração 60 T quando comparada com as outras três rações em conjunto.

A Tabela 16 apresenta o consumo e a conversão alimentar verificados para as quatro rações completas. Observar que, apesar de as diferenças de consumo entre as rações com bagaço auto-hidrolisado e com bagaço "in

Tabela 16 - Parâmetros de eficiência nutricional dos bovinos alimentados com as rações completas à base de BAH 17/5 ou bagaço "in natura".

Parâmetro	Ração 40	Ração 50	Ração 60	Ração 60T
Consumo (kg MS/100 kg PV)				
- de 21/02 a 03/05	2,76	2,79	2,79	1,84
- de 22/03 a 03/05	2,99	3,08	3,18	1,94
Conversão Alimentar (kg MS cons./kg GPV)				
- de 21/02 a 03/05	10,33	12,25	11,62	9,60
- de 22/03 a 03/05	11,39	12,20	10,15	11,75

MS = matéria seca; PV = peso vivo; GPV = ganho de peso vivo.

natura" terem sido notáveis, a conversão alimentar foi semelhante entre todos os tratamentos.

Supomos que isto tenha ocorrido em função da curta duração do experimento e do relativamente longo período decorrido até à estabilização do consumo das rações à base de BAH 17/5. Observe-se que a adaptação à ração à base de bagaço "in natura" (RAÇÃO 60T) foi mais rápida, com o consumo estabilizando-se já na segunda semana, conforme se percebe na Figura 7. Este pode ser um dos fatores que concorreu para a conversão alimentar da RAÇÃO 60T ter sido semelhante à da RAÇÃO 60.

Além disso sabe-se que em níveis de consumo menores, como os registrados para a RAÇÃO 60T, a digestibilidade da MS aumenta e, conseqüentemente, também a conversão alimentar (SCHNEIDER e FLATT, 1975). Outro aspecto a ser considerado é que o bagaço "in natura" utilizado havia sofrido processo de ensilagem, o que também pode promover pequeno acréscimo na digestibilidade de materiais lignocelulósicos (JACKSON, 1978).

O bagaço "in natura" tem densidade baixa e, na proporção de 60 % da M.S., provocou retração do consumo da RAÇÃO 60T. Provavelmente, ocorreu limitação física do consumo devido ao enchimento do trato digestivo com um material muito volumoso e pouco denso.

Após a estabilização do consumo, atingiu-se uma ingestão diária de BAH 17/5 da ordem de 4,76, 5,93 e 7,25 kg MS/cab./dia para as rações 40, 50 e 60, respectivamente. Na RAÇÃO 60T, o consumo de bagaço "in natura" foi da ordem de 4,46 kg MS/cabeça/dia.

Os dados de consumo e conversão alimentar não puderam ser analisados estatisticamente, pois não foram registrados individualmente para cada parcela. Como a alimentação foi em grupo, somente foi possível obter os dados médios de consumo de cada lote.

5. CONCLUSÕES

1. A utilização do processo de auto-hidrólise para tratamento do bagaço de cana é viável junto a usinas e destilarias, devido à disponibilidade de vapor à alta pressão e de facilidades operacionais.

2. Existem combinações específicas de pressão e tempo de tratamento que proporcionam os maiores incrementos na digestibilidade "in vitro" do bagaço. De uma maneira geral, quanto maior a pressão de tratamento, mais elevado é o valor de digestibilidade que se pode alcançar, menor é o tempo necessário para tal, e mais estreito é o patamar (intervalo entre tempos de tratamento) em que se obtém os melhores resultados.

3. O bagaço auto-hidrolisado é um material estável, que pode ser armazenado por pelo menos 3 meses em pilhas compactadas e cobertas por lona plástica. É apropriado

para fornecimento. na forma de ração completa, pois pode ser facilmente misturado com outros alimentos volumosos e com concentrados.

4. É necessário um período de 3 a 4 semanas para ocorrer a estabilização do consumo de dietas que contém elevada proporção de bagaço auto-hidrolisado. Este, ao contrário do bagaço "in natura", não restringe o nível de consumo das rações e o seu consumo atinge valores atribuídos a alimentos volumosos de boa qualidade.

5. Nos níveis testados, o bagaço auto-hidrolisado substituiu a cana picada da ração, sem provocar alterações no consumo, ganho de peso e conversão alimentar dos bovinos confinados.

6. A Ração 60 (60% de BAH 17/5 na matéria seca) apresentou consumo (+64%) e ganho de peso (+89%) superiores aos da Ração 60 T (60% de bagaço "in natura" na matéria seca), após a estabilização do consumo.

7. São necessárias mais investigações sobre esse alimento. A caracterização detalhada das reações químicas ocorridas durante o tratamento, determinações de digestibilidade "in vivo", trabalhos a nível de rúmem, ensaios com ou-

tras categorias animais, como vacas em lactação, e estudos pa
ra desenvolvimento de métodos de conservação e processamento
do bagaço auto-hidrolisado, são assuntos que ainda demandam
pesquisa para o melhor conhecimento deste recurso forrageiro.

LITERATURA CITADA

- CAMPBELL, C.M.; O. WAYMAN; R.W. STANLEY; L.S.KAMSTRA; S.E. OLBRICH; E.B.HO-A e T. NAKAYAMA, 1973. Effects of pressure treatment of sugar cane bagasse upon nutrient utilization. Proc. Wistern Sec. ASAS. EUA, 24: 178-184.
- CAMPOS, O.F.; J.F.C. SILVA; H.VILELA e A.A.souza, 1977. Valor nutritivo da raspa da mandioca e do bagaço de cana para ruminantes. Revista Ceres. 24(135): 521-529.
- DESCHAMPS, A.M.; G. MAHOUDEAU e J.M. LEBEAULT, 1980. Fast degradation of kraft lignin by bacteria. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 9 : 45-51.
- DEVLIN, R.M., 1969. Plant Physiology. 2ª ed. New York, EUA , Van Nostrand Reinhold Company Ltd. 446 p.

- GARRET, W.N.; H.G. WALKER Jr.; G.O. KOHLER; M.R. HART e R.P. GRAHAM, 1981. Steam treatment of crop residues for increased ruminant digestibility. II. Lamb Feeding Studies. J. Anim. Sci. 51(2): 409-413.
- GOODING, E.G.B., 1982. Efeito de la calidad de la cana sobre su valor como alimento para bovinos. Producción Tropical Animal. 7: 76-97.
- GOSSELINK, G.B.J., 1982. Ruptura da lignina da palha através de tratamento com uma solução de uréia. Holanda, Bureau de Agronomia da Indústria Holandesa de Adubos. Relatório nº 17. 68 p.
- HART, M.R.; H.G. WALKER Jr.; R.P. GRAHAM; P.J. GRAHAM; P.J. HANNI; A.H. BROWN e G.O. KOHLER, 1981. Steam treatment of crop residues for increased ruminant digestibility. I. Effects of process parameters. J. Animal. Sci. 51(2): 402-408.
- JACKSON, M.G., 1978. Treating straw for animal feeding. Anim. Prod. and Health Paper 10. Roma, Itália, FAO, 81 p.
- JOSHI, A.L. e D.V. RANGNEKAR, 1979. Sugar cane bagasse based feed for growing cross-bred cattle. Indian Vet. J. 56: 53-57.

- MACHADO, O.L.T., 1982. Descompressão rápida como pré-tratamento de madeira para a hidrólise enzimática. Rio de Janeiro UFRJ/Instituto de Química. 80 p. (Tese de Mestrado).
- MARCOS, A.C.M.; P.R. LEME e C. BOIN, 1984. Efeito do tempo de tratamento a pressão de vapor na composição química e na digestibilidade "in vitro" da matéria seca do bagaço de cana-de-açúcar. Zootecnia. Nova Odessa, SP. 22(4): 383-395.
- Mc DONALD, P; R.A. EDWARDS e J.F.D. GREENHALGH, 1977. Animal Nutrition. 2ª ed. New York, EUA, Longman Group Ltd. 479 p.
- PACOLA, L.J.; A.G. RAZOOK e F.P. LIMA, 1977. Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar na engorda de bovinos confinados. B. Indústria anim. Nova Odessa, SP. 34(1): 25-28.
- PATE, F.M., 1982. Value of treating bagasse with steam under pressure for cattle feed. Trop. Agric. Trinidad. 59(14): 293-297.
- PIMENTEL GOMES, F., 1978. Curso de Estatística Experimental. 8ª ed., Piracicaba, SP. Livraria Nobel S.A., 430 p.
- PINTO, L.A., 1983. O valor do bagaço como combustível. In: Avaliação do bagaço de cana-de-açúcar. Coleção SOPRAL nº 4. São Paulo. SOPRAL, p. 10-21.

- RANDEL, P.F., 1970. Ad libitum feeding of either a complete ration based on sugar cane bagasse or a conventional concentrates mixture to dairy cows. J. Agric. Univ. Puerto Rico. Rio Piedras, Porto Rico. 54(3): 429-443.
- RANGNEKAR, D.V.; V.C. BADVE; S.T. KHARAT; B.N. SOBALE e A.L. JOSHI, 1982. Effect of high-pressure steam treatment on chemical composition and digestibility in vitro of roughages. Anim. Feed Sci. Technol. Amsterdam, Holanda, 7: 61-70.
- ROMAN-PONCE, H.; H.H. VAN HORN; S.P. MARSHALL; G.J. WILCOX e P.F. RANDEL, 1975. Complete rations for dairy cattle. V. Interaction of sugarcane bagasse quantity and form with soybean meal, urea and starea. J.Dairy Sci. Champaign Ill., EUA. 58(9): 1320-1327.
- SCHNEIDER, B.H. e W.P. FLATT, 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. Athens, Georgia, EUA. The University of Georgia Press. 423 p.
- SILVEIRA, A.C., 1971. Efeito da maturidade sobre a composição em fibra, celulose, lignina e sílica e digestibilidade "in vitro" do capim Napier e soja Perene. Piracicaba, ESALQ/USP, 99 p. (Tese de Doutorado).

- TAYLOR, J.D. e W.J. ESDALE (s.d.). Increased utilization of crop residues as animal feed through autohydrolysis. Ottawa, Canadá. Stake Technology. 6 p.
- Van SOEST, P.J. e L.A. MOORE, 1965. New chemical methods for analyses of forages for the predicting nutritive value . Proc. IX International Grassland Congress. 1974 p.
- Van SOEST, P.J., 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, Oregon, EUA. O e B. Books Inc. 374 p.
- ZADRAZIL, F., 1980. Conversion of different plant waste into feed by basidiomycetes. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 9: 243-248.
- ZADRAZIL, F. e H. BRUNNERT, 1980. The influence of ammonium nitrate supplementation on degradation of straw colonized by higher fungi. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 9: 37-44.
- ZEGARRA, J.R., 1978. Perspectivas del aprovechamiento del bafazo de la caña de azúcar. Tecnologia. México, D.F. Boletim nº 5, 19 p.